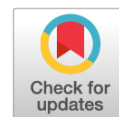


УДК 616.6

DOI: <https://doi.org/10.17816/phbn278248>

Научная статья



Когнитивная стабильность человека в пожилом возрасте гарантируется его двигательной активностью в продолжение всей жизни

А.С. Радченко

Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов, Санкт-Петербург, Россия

Мышечная активность человека, его поведение при выполнении различных видов физических упражнений, определяется сложной, многоуровневой архитектурой головного мозга. В организации любых видов движений в спорте и физических упражнениях, а также в различных видах профессиональной двигательной деятельности участвуют все уровни центральной нервной системы.

Цель — анализ пользы занятий спортом для сохранения продолжительной активности мозга.

Литературный критический анализ функционального взаимодействия различных корковых и подкорковых механизмов произвольных движений человека с привлечением отечественных и зарубежных источников.

При регулярных занятиях спортом происходят структурные изменения в тех областях мозга, которые прямо или косвенно участвуют в организации движений. Установлено, что вследствие увеличения перфузии значительная часть серого вещества не только первичных сенсомоторных полей, но и многих ассоциативных областей коры также подвержены структурным изменениям. Подчеркивается, что вследствие благоприятных перестроений в мозге мышечная работа и любая двигательная активность являются положительным фактором, определяющим когнитивную стабильность человека в пожилом возрасте.

Вывод, сделанный по результатам исследования, опровергает мнение о том, что длительные занятия спортом приводят с возрастом к сохранению только моторной коры, в то время как капиллярные сети остальных областей, в особенности ассоциативных полей, окклюдзируют раньше и отрицательно сказываются на интеллекте.

Ключевые слова: перфузия; нейрон; ассоциативные поля; физическая активность.

Как цитировать:

Радченко А.С. Когнитивная стабильность человека в пожилом возрасте гарантируется его двигательной активностью в продолжение всей жизни // Психофармакология и биологическая наркология. 2022. Т. 13. № 4. С. 85–92. DOI: <https://doi.org/10.17816/phbn278248>

DOI: <https://doi.org/10.17816/phbn278248>

Research Article

The cognitive stability of an elderly human is guaranteed by his lifelong motor activity

Alexandr S. Radchenko

Saint Petersburg University of the Humanities and Social Sciences, Saint Petersburg, Russia

A person's muscular activity, or behavior when performing various types of physical exercises, is determined by the brain's complex, multi-level architectonics. The organization of any type of movement in sports and physical exercises, as well as various types of professional motor activity, involves all levels of the central nervous system.

This study aims to analyze the benefits of sports for maintaining long-term brain activity.

This study conducted literary critical analysis of the functional interaction of various cortical and subcortical mechanisms of human voluntary movements with domestic and foreign literature involvement.

Regular sports cause structural changes in areas of the brain that are directly or indirectly involved in the organization of movements. Moreover, due to an increase in perfusion, a significant part of the gray matter of the primary sensorimotor fields and many associative areas of the cortex are also subject to structural changes. Muscle work and any motor activity are a positive factor that determines a person's cognitive stability in old age due to favorable changes in the brain.

This conclusion refutes the popular belief that long-term sports lead to the preservation of only the motor cortex with age, whereas the capillary networks in other areas, particularly associative fields, occlude earlier with age, and impair intelligence.

Keywords: perfusion; neuron; associative fields; physical activity.

To cite this article:

Radchenko AS. The cognitive stability of an elderly human is guaranteed by his lifelong motor activity. *Psychopharmacology and biological narcology*. 2022;13(4):85–92. DOI: <https://doi.org/10.17816/phbn278248>

Received: 05.09.2022

Accepted: 29.11.2022

Published: 28.12.2022

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что мышечная активность человека, его поведение при выполнении различных видов физических упражнений, определяется сложной, многоуровневой архитектурой головного мозга. В организации любых видов движений в спорте и физических упражнениях, а также в различных видах профессиональной двигательной деятельности участвуют все уровни организации центральной нервной системы (ЦНС). Фронтальные и префронтальные области коры, сенсомоторная кора, зрительные области, нижнетеменные области, гиппокамп, многочисленные подкорковые центры ствола мозга, мозжечок, эфферентные и афферентные пути, нейрогуморальное обеспечение сердечно-сосудистой системы и опорно-двигательного аппарата участвуют во всех видах двигательной активности человека. Все анализаторы с их ассоциативными полями вносят свой вклад в организацию движений.

При изучении темы «мозг и организация движений» студентам рекомендуется сначала изучить структуру и функции спинного мозга и только после этого приступить к изучению головного мозга, управляющего работой опорно-двигательного аппарата, как это удачно сделано в серии лекций по физиологии ЦНС В.А. Дубыниным [1]. В своем кратком обзоре [6] мы обобщили данные различных исследований, которые показывают связь между усовершенствованием желудочко-артериального сопряжения и улучшением перфузии головного мозга, что обеспечивает ему функциональные преимущества в пожилом возрасте у лиц, много лет занимавшихся циклическими видами спорта. В настоящей статье внимание читателя акцентируется на многократных некорректных высказываниях известного специалиста по структуре ЦНС о снижении микроциркуляции в головном мозге спортсменов по причине ухудшения функции капилляров и вызванных этим отрицательными последствиями, которые сказываются на интеллекте человека, длительное время занимавшегося спортом.

Цель статьи — краткое обсуждение проблемы структурных изменений в головном мозге, которые происходят в результате длительных занятий как спортом, так и другими видами двигательной активности.

Постановка проблемы

В книге научно-популярного характера «Изменчивость и гениальность» известный специалист в области морфологии головного мозга профессор С.В. Савельев [8] как в первом, так и в последующих изданиях пишет следующее: «При интенсивном занятии физкультурой максимальное усиление кровотока приходится на моторные центры и вестибулярный аппарат. В других областях мозга кровоток заметно не увеличивается, поэтому интенсивные занятия спортом обычно отрицательно сказываются на интеллекте, и наоборот. Это происходит из-за того, что однонаправленная деятельность увеличивает локальный кровоток только в востребованных областях мозга. Сосуды

функционально невостребованных областей сохраняют невысокий исходный кровоток. Если такая ситуация сохраняется долго, то капилляры редко нагружаемых областей постепенно окклюзируют, а участок неокортекса первым подвергается старческим изменениям» [8, с. 31–32]. Далее: «Для преодоления <...> проблем существуют эмпирические подходы, считающиеся очень „эффективными“. *Традиционное заблуждение построено на массовом убеждении о пользе занятий спортом для сохранения продолжительной активности мозга.* Если целью является сохранение мозгового представительства *двигательно-моторного* аппарата, то разнообразные виды спорта являются во всех отношениях самым лучшим средством. Однако, как указывалось выше, при двигательных нагрузках кровотоки и метаболизм нейронов *повышаются только в сенсомоторных областях мозга. Остальные области мозга кровоснабжаются на нижнем пределе метаболизма.*

Вполне понятно, что в двигательных областях будет сохранена идеальная ситуация как с сосудами, так и с нейронами. Ишемическая гибель нейронов от локальной окклюзии капилляров в сенсомоторных областях будет очень замедлена. Вместо этого внутри нейронов начнет интенсивно накапливаться липофусцин, снижая их функциональные возможности. Параллельное снижение кровотока в областях мозга, не вовлеченных в двигательную активность, будет приводить к постепенному увеличению патогенетических процессов и гибели нейронов. По этим причинам *чрезмерное увлечение спортом вызывает не только положительные, но и отрицательные последствия, сказывающиеся на интеллектуальном статусе человека*» (курсив мой. — А. Р.) [8, с. 47]. Это же мнение сегодня многократно воспроизводится С.В. Савельевым в материалах, размещенных в интернете. Сразу зададим вопрос: что такое двигательно-моторный аппарат? Существуют термины «двигательный аппарат» или «моторный аппарат». Какой спортсмен имеется в виду? В программу Олимпийских игр входят несколько десятков видов спорта, принципиально отличающиеся друг от друга по роду деятельности.

Современное представление о микроциркуляции в головном мозге

Приведенные цитаты С.В. Савельева демонстрируют искаженное понимание им микроциркуляции мозга. Его мнение не подтверждено ссылками на конкретные исследования, хотя ссылки в научно-популярных изданиях не обязательны. Неподготовленный читатель и так поверит любому слову профессора. Возникают вопросы к С.В. Савельеву: почему он выделяет только капилляры как начало диффузии кислорода из эритроцитов к нейронам? Данные какого года исследований привели его к такому убеждению? К моменту написания его книги «почти 100-летняя парадигма А. Крога об исключительности роли

в газообмене между кровью и тканями капилляров» была отменена [4, с. 5]. Оказалось, что ткани мозга значительную часть кислорода получают через оболочку артериол диаметром от 10 до 100 мкм. На сегодняшний день известно, что до 50 % кислорода (!) начинает свою диффузию к нейронам через стенки мелких и мельчайших артерий. В ткани создается своеобразное поле напряжений кислорода [2–4, 32 и др.].

Известно, что в нейронах, как и в мозге в целом, нет запаса кислорода и макроэргов. Энергетические потребности мозга и отдельных нейронов каждую секунду целиком зависят от притока крови. Поэтому для нормальной работы мозга необходима жесткая синхронность между потреблением энергии нейронами и региональным кровотоком [4]. Один из возможных механизмов, обеспечивающих эту синхронность, был найден при использовании современных методов визуализации движений крови в микрососудах и диффузии кислорода в ткани мозга, анализа и обобщения данных математическими моделями. Показано, что локомоции значительно увеличивают глобальную оксигенацию мозга, особенно в областях, участвующих в этих движениях, а также, подчеркнем это, в лобной коре и некоторых подкорковых образованиях. При этом колебания тесно коррелируют с частотой дыхания и фазой дыхательного цикла. Таким образом, частота дыхания является ключевым модулятором церебральной оксигенации [37]. Авторы этой серии исследований подчеркивают, что, несмотря на то что эксперименты проводились на мышах, полученные закономерности являются общими свойствами млекопитающих и человека. Данное утверждение предполагает, что дыхание может играть более важную роль в оксигенации головного мозга у человека, чем было принято считать ранее, потому что частота дыхания активно модулируется во время когнитивных задач, усиливается после слуховой или зрительной стимуляции, а характер дыхания у человека, имея индивидуальные особенности, может влиять на динамику церебрального кислорода [34]. Было также показано, что дыхание активно корректируется во время когнитивных задач у людей, а его динамика позволяет прогнозировать выполнение задачи [29, 37]. Опуская подробное изложение механизмов, определяющих координацию дыхательных движений и глобальной активности мозга, следует отметить существующее согласие мнений, что глобальная активность мозга координируется с фазой и частотой дыхания как у животных, так и у человека [31, 35, 37]. Капилляры, образующие сети, значительно различаются по длине, плотности и расположенности относительно нейронов в разных зонах мозга, скорости перемещения в них эритроцитов в каждый момент. Регуляция кровотока в капиллярной сети основана на взаимодействии нескольких факторов, подробное рассмотрение которых объемно и выходит за рамки цели настоящей статьи. Можно лишь сказать, что процитированные утверждения С.В. Савельева никакого отношения к современному пониманию механизмов, регулирующих

перфузию в головном мозге, а следовательно, перемещение кислорода к нейронам, не имеют.

Особенности различных видов спорта

Следуя научной логике, зададимся вопросами: что такое интеллект у спортсмена? Как он измеряется и с каким интеллектом сравнивается? В каких видах спорта интеллект имеет значение для победы или реализации индивидуального уровня подготовленности спортсмена в соревнованиях?

Чтобы самим ответить на эти вопросы сделаем некоторое не физиологическое отступление. Возьмем в качестве примера характер деятельности на футбольном поле знаменитого полузащитника З. Зидана, выдающиеся двигательные способности которого отметил однажды С.В. Савельев. Действия полузащитника определяются целью и задачами тактики игры, которые перед матчем разработаны тренером, а в профессиональных командах высших лиг — специальной группой тренеров-аналитиков. Все технико-тактические действия команды подчинены реализации этой цели. Полузащитники постоянно организуют и перестраивают взаимодействия игроков своей команды в зависимости от встречных действий противника. Итог матча, особенно высокого уровня, решается прежде всего способностью коллективно, в значительной мере под руководством полузащитника, добиваться достижения цели при постоянной смене условий решения игровых задач. Тактические действия команды строятся заранее, их отрабатывает тренерский состав в процессе подготовки к конкретному матчу с определенным соперником обычно в течение недели, предшествующей матчу. Разучивание действий проводится с каждым футболистом на каждой игровой позиции. Таким образом, успех футбольной команды зависит не столько от качества двигательных навыков каждого футболиста, то есть от набора программ в ЦНС, которые автоматически запускают в работу опорно-двигательный аппарат. Успех обеспечивается выбором и реализацией программ поведения, определяющих действия футболиста в процессе матча. Тактика игрового поведения и смена игровых взаимодействий осуществляется постоянной мобилизацией префронтальных и нижнетеменных ассоциативных полей. Эти поля вовлекают в активность премоторную и моторную кору, а также все необходимые нижерасположенные центры, организующие движения. Для подобных действий нужен специально подготовленный интеллект, обеспечивающий игровое мышление футболиста. З. Зидан, завершивший карьеру как футболист, сегодня признан одним из выдающихся футбольных тренеров.

Если рассматривать работу вратаря в любом игровом виде спорта, то суть построения его действий заключается в анализе позиций игроков команды противника, которые могут нанести завершающий удар по воротам (мячом, шайбой), а также в анализе перемещений всех ближних и дальних игроков, способных повлиять на неожиданные изменения игровой ситуации перед воротами. Фактически

действия вратаря — это непрерывный аналитический процесс, который является функцией ассоциативных областей коры. Вратарь заранее готовится к противодействию конкретным игрокам очередной команды соперника, чтобы «читать» их перемещения и своим поведением опережать их действия.

Особого внимания заслуживает тренировка фигуристов. После окончания очередного соревновательного периода и небольшого отдыха фигурист приступает к подготовке программы выступлений для следующего сезона. В процесс подготовки входит, как разучивание новых прыжков, так и совершенствование прыжков, ранее освоенных и используемых в предыдущих программах, а также связующих компонентов между этими элементами. Все компоненты программы составляют художественную композицию, которая строго сопряжена с музыкальным сопровождением. В процесс подготовки (разучивания) новой программы входит освоение новых, значительно более сложных многооборотных прыжков. Кроме того, идет непрерывная работа по совершенствованию основных двигательных качеств фигуриста: силы, быстроты, выносливости и, выделим особо, вестибулярной устойчивости [5]. Для стабильного выполнения всех элементов композиции, которая обеспечивается названными двигательными качествами в условиях жесткого эмоционального стресса в очередном соревновании, необходимо постоянное совершенствование и/или обновление уже исполняемых элементов с применением современных технических средств подготовки. Обновление композиции — это постоянная мобилизация переключений в организации движений не только прецентральной областью коры, но и ассоциативными полями всех анализаторов и мозжечком.

Учитывая, что фигуристы тренируются по несколько часов в день, можем себе представить количество времени, в течение которого происходит регулярный запуск двигательных программ, постоянный контроль качества их выполнения и инициация коррекции движений, осуществляемая посредством влияний фронтальной и префронтальной, а также нижнетеменной области коры. Следует особо подчеркнуть особенности работы мозга (фигуриста, гимнаста), которые возникают в условиях соревнований. Реализация мозгом двигательной программы нарушается при возникновении эмоционального стресса. Гормональный всплеск затрудняет оптимальные, «отлаженные» в продолжение многочисленных тренировок, взаимодействия всех уровней организации движений. Только иницирующее влияние лобных областей коры позволяет сохранять оптимальный баланс взаимодействия всех уровней ЦНС, выполняющих двигательные программы в этих условиях. Приведенные здесь рассуждения об организации движений человека физиология высшей нервной деятельности изучает на протяжении многих лет. Для отчетливого понимания формирования и управления движениями ЦНС человека можно порекомендовать уже цитированную выше лекцию В.А. Дубынина [1].

Данные о структурных изменениях в головном мозге человека в результате длительных занятий физическими упражнениями

Цитированные выше высказывания автора популярной книги не дают шансов рядовому читателю задуматься об удивительной пластичности микроциркуляции в головном мозге и способности кровотока перестраиваться при изменениях многочисленных факторов, регулирующих его обеспечение кислородом. Несмотря на то что в области изучения структуры ЦНС С.В. Савельев является одним из ведущих специалистов, обоснованно сформулировавшим идею «церебрального сортинга» [7–9] и написавшим полезные книги для понимания созревания и развития мозга человека [10, 11], создается впечатление, что автор не проникся современным пониманием организации функций головного мозга, при различной профессиональной мышечной деятельности и в особенности разнообразием и спецификой активности мозга при занятиях различными видами спорта.

Физиологам, патофизиологам, спортивным физиологам, спортивным врачам, врачам любого профиля, тренерам и преподавателям физической культуры и всем читателям книг С.В. Савельева рекомендую статью S.A.H. Batouli и V. Saba [12], в которой подробно, на современном методологическом уровне рассматриваются морфологические изменения в мозге человека как результат длительных занятий различными видами физических упражнений.

Из огромного потока информации по теме адаптации мозга при мышечной активности авторы тщательно отобрали 52 работы из 5 основных баз данных. Работы отвечали современным требованиям по адекватности методов визуализации различных областей мозга, точности измерений структур и др. В исследованиях фигурировали 4684 участника (2562 женщины) в широком возрастном диапазоне. Изучалось изменение структуры мозга человека в результате воздействия многих видов физической активности: от аэробных упражнений, боевых искусств, силовых тренировок до таких занятий, как игра в гольф, жонглирование, танцы, дайвинг. Были описаны ассоциативные области коры, которые на сегодня известны как области, обеспечивающие движения человека. К ним относятся передняя лобная и префронтальная кора, средняя лобная и прецентральная извилины, дополнительная моторная область, задняя теменная кора, средняя и нижняя височные извилины и многие другие зоны, об исследованиях которых авторы дают большой объем ссылок. Только небольшая часть из них представлена в данной публикации. Любой читатель, найдя их в интернете, может сам убедиться насколько тщательно S.A.H. Batouli и V. Saba анализировали структурные изменения (как объема, так и толщины коры) в рассматриваемых областях мозга [15–17, 19–21, 24, 28, 33, 36].

Совершенно очевидно, что достоверные изменения объема рассматриваемых областей (как подкорковых

образований, так и первичных, вторичных и ассоциативных полей коры) возможны только при условии их усиленного и стабильного кровоснабжения при соответствующих упражнениях. Авторы [12] установили и вынесли в заголовки статьи тот факт, что по крайней мере 80 % серого вещества головного мозга человека подвержены благоприятным изменениям в результате регулярных занятий физическими упражнениями.

Следует подчеркнуть, что S.A.H. Batouli и V. Saba в начале своей статьи указали на отсутствие подхода к обобщению огромного количества данных о структурных изменениях в мозге при занятиях физическими упражнениями, то есть отсутствию своеобразной карты, которая показала бы общее увеличение влияния физической активности на структуру мозга, и они впервые предоставили такую карту. Однако подсчет общего количества структурных изменений головного мозга вызвал обоснованные замечания. Несмотря на то что обзор был проведен очень тщательно, имеются оппоненты, не согласные с общим выводом, который преувеличивает изложенные в публикациях данные [18]. Была предложена другая формулировка вывода: «Несколько исследований продемонстрировали, что определенные области мозга подвержены влиянию физической активности, о чем свидетельствуют изменения объема и толщины коры на протяжении жизни и в разных популяциях. Таким образом, трудно сформулировать окончательное утверждение относительно общего процента мозга, который может быть изменен физической активностью. Необходимы дополнительные исследования, чтобы пролить свет на эту тему, особенно в более молодых группах населения, в которых существует значительно меньшая доля исследований» [18]. Справедливости ради следует заметить, что общая доля структурных изменений не имеет особого значения для наших рассуждений, потому что цель настоящей статьи — убедительно продемонстрировать участие многих, в том числе и ассоциативных, областей коры в обеспечении двигательной активности человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что при регулярных занятиях физическими упражнениями структурным изменениям подвержены многие области мозга. Утверждения С.В. Савельева не соответствуют как современной концепции регуляции перфузии, так и экспериментально установленным фактам функционального взаимодействия различных

корковых и подкорковых механизмов произвольных движений человека.

В заключение можно процитировать один из последних абзацев статьи S.A.H. Batouli и V. Saba [12] вместе со ссылками, которые дают сами авторы. Существуют доказательства того, что образ жизни, богатый психическими и физическими проблемами, помогает поддерживать когнитивное и общее здоровье у пожилых лиц [25], что противодействует возрастному когнитивному дефициту [23]. Физическая активность, как специфический компонент образа жизни, также продемонстрировала улучшение когнитивных способностей [26], замедление скорости когнитивного старения [30], сохранение ткани мозга [14] и улучшение резерва мозга для повышения устойчивости к нейродегенерации у пожилых людей [22]. Несмотря на то что влияние физической активности на объем мозга более отчетливо наблюдается у пожилых, молодой возраст является лучшим периодом жизни для применения физических упражнений. Таким образом, быть физически более активным в подростковом возрасте [27] или в среднем возрасте [13] полезно для когнитивных функций в зрелом возрасте.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад автора. Автор внес существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочел и одобрил финальную версию перед публикацией. Вклад автора: А.С.Радченко — написание статьи, анализ данных, разработка общей концепции.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study. The contribution of each author: A.S. Radchenko — manuscript drafting, writing and pilot data analyses, paper reconceptualization and general concept discussion.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. youtube.com [Электронный ресурс]. Дубынин Вячеслав: Мозг и движение. 2018. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=XNMghUG3YDA&t=4445s>
2. Иванов К.П. Основы энергетики организма: Теоретические и практические аспекты. Т. 2. Биологическое окисление и его обеспечение кислородом. Санкт-Петербург: Наука, 1993. 272 с.
3. Иванов К.П. Современные представления о транспорте кислорода в тканях // Успехи физиологических наук. 2001. Т. 32, № 4. С. 3–22.
4. Иванов К.П. Гипоксия мозга и гибель нейронов вследствие нарушения микроциркуляции мозгового кровообращения // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2010. Т. 9, № 2. С. 5–17. DOI: 10.24884/1682-6655-2010-9-2-5-17

5. Мишин А.Н., Шапиро В.А. Фигурное катание как космической полет. Санкт-Петербург: Реноме, 2015. 296 с.
6. Радченко А.С., Давыдов В.В., Калинин А.Н. Многолетняя циклическая аэробная тренировка сохраняет здоровье мозга человека в пожилом возрасте (краткий обзор иностранной литературы) // Российский медико-биологический вестник им. академика И.П. Павлова. 2016. Т. 24, № 4. С. 152–163. DOI: 10.23888/PAVLOVJ20164152-163
7. Савельев С.В. Атлас мозга человека. Москва: ВЕДИ, 2005. 400 с.
8. Савельев С.В. Изменчивость и гениальность. Москва: ВЕДИ, 2012. 128 с.
9. Савельев С.В. Церебральный сортинг. Москва: ВЕДИ, 2016. 232 с.
10. Савельев С.В. Морфология сознания: в 2 т. Т. 1. Изд. 2, испр. и доп. Москва: ВЕДИ, 2020. 224 с.
11. Савельев С.В. Морфология сознания: в 2 т. Т. 2. Москва: ВЕДИ, 2021. 208 с.
12. Batouli S.A.H., Saba V. At least eighty percent of brain grey matter is modifiable by physical activity: A review study // Behav Brain Res. 2017. Vol. 332. P. 205–217. DOI: 10.1016/j.bbr.2017.06.002
13. Belsky D.W., Caspi A., Houts R., et al. Quantification of biological aging in young adults // PNAS. 2015. Vol. 112, No. 30. P. E4104–E4110. DOI: 10.1073/pnas.1506264112
14. Benedict C., Brooks S.J., Kullberg J., et al. Association between physical activity and brain health in older adults // Neurobiol Aging. 2003. Vol. 34, No. 1. P. 83–90. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2012.04.013
15. Caspers S., Zilles K., Laird A.R., Eickhoff S.B. ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain // Neuroimage. 2010. Vol. 50, No. 3. P. 1148–1167. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2009.12.112
16. Chouinard P.A., Paus T. The primary motor and premotor areas of the human cerebral cortex // Neurosci. 2006. Vol. 12, No. 2. P. 143–152. DOI: 10.1177/1073858405284255
17. Doyon J., Benali H. Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills // Curr Opin Neurobiol. 2005. Vol. 15, No. 2. P. 161–167. DOI: 10.1016/j.conb.2005.03.0
18. Esteban-Cornejo I., Catena A., Hillman C.H., et al. Commentary: At least eighty percent of brain grey matter is modifiable by physical activity: a review study // Front Hum Neurosci. 2018. Vol. 12. ID 195. DOI: 10.3389/FNHUM.2018.00195
19. Gerber P., Schlaffke L., Heba S., et al. Juggling revisited — A voxel-based morphometry study with expert jugglers // Neuroimage. 2014. Vol. 95. P. 320–325. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2014.04.023
20. Goble D.J., Coxon J.P., Van Impe A., et al. The neural control of bimanual movements in the elderly: brain regions exhibiting age-related increases in activity, frequency-induced neural modulation, and task-specific compensatory recruitment // Hum Brain Mapp. 2010. Vol. 31. P. 1281–1295. DOI: 10.1002/hbm.20943
21. Golby A., Poldrack R., Brewer J., et al. Material-specific lateralization in the medial temporal lobe and prefrontal cortex during memory encoding // Brain. 2001. Vol. 124, No. 9. P. 1841–1854. DOI: 10.1093/BRAIN/124.9.1841
22. Gordon G.R.J., Choi H.B., Rungta R.L., et al. Brain metabolism dictates the polarity of astrocyte control over arterioles // Nature. 2008. Vol. 456. P. 745–749. DOI: 10.1038/nature07525
23. Grazina R., Massano J. Physical exercise and Parkinson's disease: influence on symptoms, disease course and prevention // Rev Neurosci. 2013. Vol. 24, No. 2. P. 139–152. DOI: 10.1515/revneuro-2012-0087
24. Grefkes C., Fink G.R. The functional organization of the intraparietal sulcus in humans and monkeys // J Anat. 2005. Vol. 207, No. 1. P. 3–17. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2005.00426.x
25. Hertzog C., Kramer A.F., Wilson R.S., Lindenberger U. Enrichment effects on adult cognitive development // Psychol Sci Public Inheres. 2008. Vol. 9, No. 1. P. 1–65. DOI: 10.1111/j.1539-6053.2009.01034.x
26. Kattenstroth J.-C., Kolankowska I., Kalisch T., Dinse H.R. Superior sensory, motor, and cognitive performance in elderly individuals with multi-Year dancing activities // Front Aging Neurosci. 2010. Vol. 2. ID 31. DOI: 10.3389/fnagi.2010
27. Middleton L.E., Barnes D.E., Lui L.Y., Yaffe K. Physical activity over the life course and its association with cognitive performance and impairment in old age // J Am Geriatr Soc. 2010. Vol. 58, No. 7. P. 1322–1326. DOI: 10.1111/j.1532-5415.2010.02903.x
28. Milham M.P., Erickson K.I., Banich M.T., et al. Attentional control in the aging brain: insights from an fMRI study of the stroop task // Brain Cogn. 2002. Vol. 49, No. 3. P. 277–296. DOI: 10.1006/brcg.2001.1501
29. Perl O., Ravia A., Rubinson M., et al. Human non-olfactory cognition phase-locked with inhalation // Nat Hum Behav. 2019. Vol. 3. P. 501–512. DOI: 10.1038/s41562-019-0556-z
30. Richards M., Hardy R., Wadsworth M.E.J. Does active leisure protect cognition? Evidence from a national birth cohort // Soc Sci Med. 2003. Vol. 56, No. 4. P. 785–792. DOI: 10.1016/S0277-9536(02)00075-8
31. Rojas-Libano D., Wimmer del Solar J., Aguilar-Rivera M., et al. Local cortical activity of distant brain areas can phase-lock to the olfactory bulb's respiratory rhythm in the freely behaving rat // J Neurophysiol. 2018. Vol. 120, No. 3. P. 960–972. DOI: 10.1152/jn.00088.2018
32. Sakadžić S., Mandeville E.T., Gagnon L., et al. Large arteriolar component of oxygen delivery implies a safe margin of oxygen supply to cerebral tissue // Nat Commun. 2014. Vol. 5. ID 5734. DOI: 10.1038/NCOMMS6734
33. Schlaffke L., Lissek S., Lenz M., et al. Sports and brain morphology — a voxel-based morphometry study with endurance athletes and martial artists // Neuroscience. 2014. Vol. 259. P. 35–42. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2013.11.046
34. Shea S.A. Behavioural and arousal-related influences on breathing in humans // Exp Physiol. 1996. Vol. 81, No. 1. P. 1–26. DOI: 10.1113/EXPPHYSIOL.1996.SP003911
35. Tort A.B.L., Brankack J.A. Draguhn. Respiration-entrained brain rhythms are global but often overlooked // Trends Neurosci. 2018. Vol. 41, No. 4. P. 186–197. DOI: 10.1016/j.tins.2018.01.007
36. Weinstein A.M., Voss M.W., Prakash R.S., et al. The association between aerobic fitness and executive function is mediated by prefrontal cortex volume // Brain Behav Immun. 2012. Vol. 26, No. 5. P. 811–819. DOI: 10.1016/j.bbi.2011.11.008
37. Zhang Q., Roche Q.M., Gheres K.W., et al. Cerebral oxygenation during locomotion is modulated by respiration // Nat Commun. 2019. Vol. 10, No. 1. ID 5515. DOI: 10.1038/S41467-019-13523-5

REFERENCES

1. youtube.com [Internet]. *Dubynin Vyacheslav: Mozg i dvizhenie*. 2018. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=XNMGhUG3YDA&t=4445s> (In Russ.)
2. Ivanov K.P. *Osnovy ehnergetiki organizma: Teoreticheskie i prakticheskie aspekty. T. 2. Biologicheskoe okislenie i ego obespechenie kislorodom*. Saint Petersburg: Nauka, 1993. 272 p. (In Russ.)
3. Ivanov K.P. Modern ideas of oxygen transport from blood to tissue. *Progress in physiological science*. 2001;32(4):3–22. (In Russ.)
4. Ivanov K.P. Brain hypoxia and death of neurons as the result of disorder of microcirculation in the brain and of regional brain circulation. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2010;9(2):5–17. DOI: 10.24884/1682-6655-2010-9-2-5-17 (In Russ.)

5. Mishin AN, Shapiro VA. *Figurnoe katanie kak kosmicheskoi polet*. Saint Petersburg: Renome, 2015. 296 p. (In Russ.)
6. Radchenko AS, Davydov BB, Kalinichenko AN. Long-term cyclic aerobic training preserves the brain's health in elderly persons (brief review). *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2016;24(4):152–163. (In Russ.) DOI: 10.23888/PAVLOVJ20164152–163
7. Savel'ev SV. *Atlas mozga cheloveka*. Moscow: VEDI, 2005. 400 p. (In Russ.)
8. Savel'ev SV. *Izmenchivost' i genial'nost'*. Moscow: VEDI, 2012. 128 p. (In Russ.)
9. Savel'ev SV. *Tserebral'nyi sorting*. Moscow: VEDI, 2016. 232 p. (In Russ.)
10. Savel'ev SV. *Morfologiya soznaniya: v 2 t. T. 1. izd. 2, ispr. i dop.* Moscow: VEDI, 2020. 224 p. (In Russ.)
11. Savel'ev SV. *Morfologiya soznaniya: v 2 t. T. 2.* Moscow: VEDI, 2021. 208 p. (In Russ.)
12. Batouli SAH, Saba V. At least eighty percent of brain grey matter is modifiable by physical activity: A review study. *Behav Brain Res*. 2017;332:205–217. DOI: 10.1016/j.bbr.2017.06.002
13. Belsky DW, Caspi A, Houts R, et al. Quantification of biological aging in young adults. *PNAS*. 2015;112(30):E4104–E4110. DOI: 10.1073/pnas.1506264112
14. Benedict C, Brooks SJ, Kullberg J, et al. Association between physical activity and brain health in older adults. *Neurobiol Aging*. 2003;34(1):83–90. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2012.04.013
15. Caspers S, Zilles K, Laird AR, Eickhoff SB. ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *Neuroimage*. 2010;50(3):1148–1167. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2009.12.112
16. Chouinard PA, Paus T. The primary motor and premotor areas of the human cerebral cortex. *Neurosci*. 2006;12(2):143–152. DOI: 10.1177/1073858405284255
17. Doyon J, Benali H. Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Curr Opin Neurobiol*. 2005;15(2):161–167. DOI: 10.1016/j.conb.2005.03.0
18. Esteban-Cornejo I, Catena A, Hillman CH, et al. Commentary: At least eighty percent of brain grey matter is modifiable by physical activity: a review study. *Front Hum Neurosci*. 2018;12:195. DOI: 10.3389/FNHUM.2018.00195
19. Gerber P, Schlaffke L, Heba S, et al. Juggling revisited — A voxel-based morphometry study with expert jugglers. *Neuroimage*. 2014;95:320–325. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2014.04.023
20. Goble DJ, Coxon JP, Van Impe A, et al. The neural control of bimanual movements in the elderly: brain regions exhibiting age-related increases in activity, frequency-induced neural modulation, and task-specific compensatory recruitment. *Hum Brain Mapp*. 2010;31:1281–1295. DOI: 10.1002/hbm.20943
21. Golby A, Poldrack R, Brewer J, et al. Material-specific lateralization in the medial temporal lobe and prefrontal cortex during memory encoding. *Brain*. 2001;124(9):1841–1854. DOI: 10.1093/BRAIN/124.9.1841
22. Gordon GRJ, Choi HB, Rungta RL, et al. Brain metabolism dictates the polarity of astrocyte control over arterioles. *Nature*. 2008;456:745–749. DOI: 10.1038/nature07525
23. Grazina R, Massano J. Physical exercise and Parkinson's disease: influence on symptoms, disease course and prevention. *Rev Neurosci*. 2013;24(2):139–152. DOI: 10.1515/revneuro-2012-0087
24. Grefkes C, Fink GR. The functional organization of the intraparietal sulcus in humans and monkeys. *J Anat*. 2005;207(1):3–17. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2005.00426.x
25. Hertzog C, Kramer AF, Wilson RS, Lindenberger U. Enrichment effects on adult cognitive development. *Psychol Sci Public Inheres*. 2008;9(1):1–65. DOI: 10.1111/j.1539-6053.2009.01034.x
26. Kattenstroth J-C, Kolankowska I, Kalisch T, Dinse HR. Superior sensory, motor, and cognitive performance in elderly individuals with multi-Year dancing activities. *Front Aging Neurosci*. 2010;2:31. DOI: 10.3389/fnagi.2010
27. Middleton LE, Barnes DE, Lui LY, Yaffe K. Physical activity over the life course and its association with cognitive performance and impairment in old age. *J Am Geriatr Soc*. 2010;58(7):1322–1326. DOI: 10.1111/j.1532-5415.2010.02903.x
28. Milham MP, Erickson KI, Banich MT, et al. Attentional control in the aging brain: insights from an fMRI study of the stroop task. *Brain Cogn*. 2002;49(3):277–296. DOI: 10.1006/brcg.2001.1501
29. Perl O, Ravia A, Rubinson M, et al. Human non-olfactory cognition phase-locked with inhalation. *Nat Hum Behav*. 2019;3:501–512. DOI: 10.1038/s41562-019-0556-z
30. Richards M, Hardy R, Wadsworth MEJ. Does active leisure protect cognition? Evidence from a national birth cohort. *Soc Sci Med*. 2003;56(4):785–792. DOI: 10.1016/S0277-9536(02)00075-8
31. Rojas-Libano D, Wimmer del Solar J, Aguilar-Rivera M, et al. Local cortical activity of distant brain areas can phase-lock to the olfactory bulb's respiratory rhythm in the freely behaving rat. *J Neurophysiol*. 2018;120(3):960–972. DOI: 10.1152/jn.00088.2018
32. Sakadžić S, Mandeville ET, Gagnon L, et al. Large arteriolar component of oxygen delivery implies a safe margin of oxygen supply to cerebral tissue. *Nat Commun*. 2014;5:5734. DOI: 10.1038/NCOMMS6734
33. Schlaffke L, Lissek S, Lenz M, et al. Sports and brain morphology – a voxel-based morphometry study with endurance athletes and martial artists. *Neuroscience*. 2014;259:35–42. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2013.11.046
34. Shea SA. Behavioural and arousal-related influences on breathing in humans. *Exp Physiol*. 1996;81(1):1–26. DOI: 10.1113/EXPPHYSIOL.1996.SP003911
35. Tort ABL, Brankack JA, Draguhn. Respiration-entrained brain rhythms are global but often overlooked. *Trends Neurosci*. 2018;41(4):186–197. DOI: 10.1016/j.tins.2018.01.007
36. Weinstein AM, Voss MW, Prakash RS, et al. The association between aerobic fitness and executive function is mediated by prefrontal cortex volume. *Brain Behav Immun*. 2012;26(5):811–819. DOI: 10.1016/j.bbi.2011.11.008
37. Zhang Q, Roche QM, Gheres KW, et al. Cerebral oxygenation during locomotion is modulated by respiration. *Nat Commun*. 2019;10(1):5515. DOI: 10.1038/S41467-019-13523-5

ОБ АВТОРЕ

Александр Сергеевич Радченко, д-р биол. наук, профессор кафедры физического воспитания; адрес: Россия, 192236, Санкт-Петербург, ул. Фучика, д. 15; eLibrary SPIN: 2019-3266. E-mail: radcha@mail.ru

AUTHOR INFO

Alexandr S. Radchenko, Dr. Sci. (Biol.), Professor of the Physical Education Department, ; address: 15, Fuchika st., Saint Petersburg, 192236, Russia; eLibrary SPIN: 2019-3266. E-mail: radcha@mail.ru